Beiträge zur Physiologie der Diatomeen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

ACAD. LAGO BAT. BIBL.

vorgelegt von

Theodor Meinhold

aus Sandow (Pommern).

Halle a. S.,
1911.

Erscheint auch in: Beiträge zur Biologie der Pflanzen. Begründet von Professor Dr. Ferd. Cohn, herausgegeben von Dr. Felix Rosen, Band X, S. 353 ff.

Referent: Professor **Dr. G. Karsten.**

Dem Andenken meines Grossvaters

D. Carl Meinhold.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544726_0106

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Einleitung 7

III. Allgemeine physiologische Beobachtungen an Diatomeen 8

1. Die Gewinnung der Reinkultur 8
2. Das Nährsubstrat 9
3. Volumenänderung der Diatomeen bei der Teilung 11
4. Über die Ausscheidung eines agarlösenden Fermentes 12
5. Chemotaxis 12
6. Zonenförmiges Wachstum bei Diatomeen 13
7. Absonderung von Schleim in Reinkulturen 14
8. Die Bedeutung der Schüttelkulturen 14

III. Kulturen in farbigem Licht 15

1. Die Absorptionsspektra 15
2. Die Lichtfilter 16
3. Methodik 19
   a) Versuchsanordnung 19
   b) Das Maß für das Wachstum 21
4. Die praktische Ausführung 22
5. Die Bedeutung der Energie 25

V. Zusammenfassung der Resultate 31

Literaturnachweis 32

I. Einleitung.

Die Frage nach dem Verhältnis von Lichtfarbe und Assimilation ist schon oft Gegenstand eingehender Untersuchungen gewesen. Die Literatur weist die widersprechendsten Ansichten auf, die die einzelnen Forscher über dies Verhältnis hatten, bis es endlich Engelmann[1]) gelang, durch seine grundlegenden Arbeiten sehr wahrscheinlich zu machen, daß ein ganz bestimmter Parallelismus zwischen der Assimilation und der Absorption des Lichtes durch die Chromatophorenfarbstoffe besteht. Er fand z. B. bei grünen Pflanzen für den absorbierten roten Spektralbezirk ein erstes, für die ebenfalls absorbierten blauen Strahlen ein zweites Assimilationsmaximum. Zur Stärkung der Engelmannschen Theorie trugen in jüngster Zeit hauptsächlich Stahl[2]) sowie Kniep und Minder[3]) bei. Ersterer zeigte, daß man die grüne Laubfarbe als eine Anpassungserscheinung an gegebene Lichtverhältnisse zu betrachten habe. Den Letzteren gelang es, nachzuweisen, daß bei gleicher absorbierter Strahlungsenergie gleiche Assimilation stattfinde, daß also bei gleicher Energieverteilung durch das ganze Spektrum den absorbierten roten Strahlen der gleiche assimilatorische Wert zukomme wie den blauen Strahlen, daß aber im Gegensatz hierzu die Wellenlänge des Lichtes nur insofern in Betracht komme, als sie für die Absorption durch das Chlorophyll bestimmend sei.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß man bei Versuchen ähnlicher Natur das größte Gewicht auf die zur Verwendung kommende Energie der farbigen Strahlung zu legen hat.

---

[1]) Engelmann, Untersuchungen über die quantitativen Beziehungen zwischen Absorption des Lichtes und Assimilation in Pflanzenzellen.

[2]) Stahl, Laubfarbe und Himmelslicht.

[3]) Kniep und Minder, Über den Einfluß verschiedenfarbigen Lichtes auf die Kohlensäure-Assimilation.

War die Frage nun für grüne Pflanzen bis zu einem gewissen Grade geklärt, so fehlten bis dahin noch analoge Beobachtungen für andersfarbige Organismen. Da rote und braune Algen nur am Meere in hinreichender Menge und Auswahl zur Verfügung stehen, so kamen für meine, im botanischen Institut zu Halle angestellten Versuche nur Diatomeen in Frage. Bei diesen ist die Gasblasenmethode, der Kniep und Minder[1]) folgten, nicht anwendbar, auch die Engelmannsche Bakterienmethode bietet große Schwierigkeiten. Daher suchte ich mich meinem Ziele auf ganz anderem Wege zu nähern.

Da die Assimilation Vorbedingung zur Vermehrung ist[2]), also dort, wo stärkere Assimilation stattfindet, auch die Teilungen rascher aufeinanderfolgen, glaubte ich, aus der Vermehrungsgeschwindigkeit auf die Intensität der Assimilation schließen zu dürfen. Darum beobachtete ich in einer größeren Reihe von Versuchen die Vermehrung der Diatomeen in verschiedenfarbigem Licht, um so die Verteilung der Assimilationsgröße im Spektrum zu erkennen.

Es ist mir natürlich klar, daß bei dem Wachstum komplizierende Faktoren in mancher Hinsicht die Übersichtlichkeit der Resultate bedeutend beeinträchtigen können. Aus diesem Grunde ist, um äußere Störungen nach Möglichkeit auszuschalten, die Reinkultur erstes Erfordernis. Es gelang mir auch, auf dem von Richter[3]) vorgezeichneten Wege drei kleinere Diatomeenformen, die ganz besonders geeignet schienen, in absolute Reinzucht zu bringen. Sie wurden bestimmt als Nitzschia dissipata, Nitzschia Palea und Navicula minuscula.

Eine Reihe interessanter Beobachtungen, die ich während der Isolierung der drei Diatomeen machte, teile ich an dieser Stelle mit, ehe ich an die Erledigung meiner Aufgabe herantrete.

II. Allgemeine physiologische Beobachtungen an Diatomeen.

1. Gewinnung der Reinkultur.

Nach einigen vergeblichen Versuchen mit dem Kochschen Isolierungsverfahren folgte ich genau dem von Richter[4]) mitgeteilten Weg, der sich auf die Bewegungsfähigkeit der Diatomeen, auch auf halbstarrem Nährsubstrat, gründet. Bei der ziemlich raschen Bewegung durch ein- bis zweiprozentigen Agar werden die meisten der anhaftenden Keime abgestreift. So gelangt man dann nach einigen Überimpfungen bald zur Reinzucht. Die Nährlösung wurde genau nach den Angaben Richters[5]) hergestellt.

---

[1]) l. c. S. 638. [2]) O. Richter, Zur Physiologie der Diatomeen I, S. 68.
[3]) O. Richter, Reinkulturen von Diatomeen. [4]) Ebenda.
[5]) O. Richter, Zur Physiologie der Diatomeen I, S. 52.

2. Das Nährsubstrat.

War ich einmal zur Reinkultur vorgedrungen, so konnte ich auch zu besseren Nährsubstraten übergehen. Es ist ja bekannt, daß sich Diatomeen bei geringfügigen Zusätzen organischer Nährstoffe bedeutend stärker zu vermehren vermögen als unter anderen Verhältnissen.

Alle drei von mir kultivierten Formen verhielten sich organischen N- und C-Quellen gegenüber ziemlich gleichmäßig.

Es wurden erprobt als N-Quellen[1])

Asparagin, Leucin und Pepton,

als C-Quellen in erster Linie

Mannit und Traubenzucker,

in zweiter Linie

Weinsäure, Zitronensäure, Milchsäure und Äpfelsäure.

Da die Diatomeen gegen Säure sehr empfindlich sind, wurde stets bis zu deutlicher Phenolphtaleïn-Reaktion Soda zugesetzt. Andere Alkalien, wie z. B. Ammoniak, erwiesen sich als weniger geeignet.

Dem Richterschen „Mineralsalzagar“[2]) wurde jedesmal die Kombination einer N-Quelle mit einer C-Quelle zugesetzt. Dabei erwies sich bei weitem am günstigsten für alle drei Formen ein Zusatz von $^1/_2$% Asparagin und $^1/_{10}$% Äpfelsäure. Daneben auch $^1/_2$% Asparagin und $^1/_{10}$% Traubenzucker. Bei Anwendung von Weinsäure und Zitronensäure zeigte sich in der ersten Zeit regelmäßig eine ganz außerordentliche Vermehrungsbeschleunigung, der aber bald ein allgemeines Absterben folgte. Dieser Nachteil trat niemals bei Äpfelsäure ein.

Höhere Konzentrationen von Äpfelsäure ($^1/_3$—$^1/_2$%) ermöglichten nur noch langsames Wachstum. Dabei machte sich stets eine auffallende Chromatophorenreduktion bemerkbar, so daß mit unbewaffnetem Auge selbst größere Kolonien absolut farblos erscheinen. Dennoch zeigten derartige Diatomeen sich vollkommen lebensfähig, was durch lebhafte Beweglichkeit und dadurch zum Ausdruck kam, daß dies Material kurze Zeit sehr wohl Temperaturen bis zu 42° ertragen konnte. Schon Karsten[3]) hat in seinen Diatomeenkulturen bei guter organischer Ernährungsweise starke Rückbildung der Chromatophoren beobachten können. Da er aber keine Reinkultur besaß, behauptete Richter[4]), es müsse sich um eine pathologische Erscheinung, hervorgerufen durch die Einwirkung der Bakterien, handeln. Daß dieser Einwand nicht stichhaltig ist, geht aus den oben mitgeteilten Beobachtungen hervor, bei denen die Reduktion in Reinkulturen auftrat.

---

[1]) O. Richter, Zur Physiologie der Diatomeen I, S. 30 ff.

[2]) l. c. I, S. 52.

[3]) G. Karsten, Über farblose Diatomeen, S. 416. [4]) b. I. l. c. S. 39.

Diese Zurückbildung der Chromatophoren war Veranlassung zu dem Versuch, auf gleichem Substrat eine Vermehrung bei Lichtausschluß zu erzielen. Doch blieb diese Bemühung erfolglos.

Da die Diatomeen in ihrem Innern häufig als Reservematerial große Fettropfen bilden, wurden anstelle der oben mitgeteilten C-Quellen in einigen Versuchsreihen mit Soda neutralisierte Fettsäuren dem Substrat zugesetzt. Es wurden verwendet Palmitinsäure, Oleïnsäure und Stearinsäure. Eine Konzentration von 1 ‰ erwies sich als schwach wachstumshemmend gegenüber der Kultur auf reinem „Mineralsalzagar", während $^1/_5$—$^1/_{10}$ ‰ in geringem Grade fördernd wirkte. Auffallend war hier durchweg die intensive Braunfärbung der Kolonien.

Einen wie großen Einfluß übrigens die Ernährung, besonders die N-Quelle, auf die Kolonienform hat, geht aus der Abbildung Tafel IV Fig. 1 hervor. Das Alter der Kolonien ist 2—3 Wochen.

Der Reihe nach von links nach rechts sind dem Substrat folgende organische Zusätze gemacht:

1. Pepton	$^1/_3$ %	Mannit	$^1/_3$ %
2. Pepton	$^1/_2$ %	Mannit	$^1/_2$ %
3. Pepton	$^1/_2$ %	Mannit	$^1/_3$ %
4. Pepton	$^1/_2$ %		
5. Asparagin	$^1/_2$ %	Traubenzucker	$^1/_{10}$ %
6. Asparagin	$^1/_{10}$ %		
7. Asparagin	$^1/_2$ %	Äpfelsäure	$^1/_{10}$ %
8. Asparagin	$^1/_{10}$ %	Traubenzucker	$^1/_{10}$ %.

Wie aus der Photographie ersichtlich ist, zeigt sich bei Peptonzusatz eine ganz charakteristische Kolonienform, bei Asparaginzusatz eine vollkommen andere ebenso sprechende Figur. Alle Kolonien werden von der gleichen Diatomeenform, Nitzschia dissipata, gebildet. Man kann also nicht, wie Richter[1]) es anregt, aus der Wachstumsfigur ein systematisches Merkmal konstruieren, wenn man auch mit einiger Erfahrung die verschiedenen Kolonieformen verschiedener Spezies zu unterscheiden lernt.

Das auf Grund oben mitgeteilter Ernährungsversuche hergestellte optimale Kultursubstrat hat folgende Zusammensetzung:

1000	ccm	H_2O
12	g	Agar-Agar
0,2	g	KNO_3
0,2	g	$MgSO_4$
0,2	g	K_2HPO_4
0,2	g	$CaCl_2$

[1]) O. Richter, Die Ernährung der Algen, S. 131.

5 g Asparagin
1 g Äpfelsäure
Spur $FlSO_4$
Spur $K_2Si_2O_5$

Neutralisiert wurde stets mit Soda bis zu deutlicher Phenolphtaleïn-Reaktion.

3. Volumenänderung der Diatomeen bei der Teilung.

Richter[1]) stellte nach seinen Messungen an der von ihm kultivierten farblosen Nitzschia putrida das Gesetz von der Konstanz des Volumens auf. Daß diese Regel nicht auf die von mir gezüchteten Formen Anwendung finden kann, geht aus zahlreichen Untersuchungen hervor, die ich in dieser Richtung anstellte. Ich teile hier die an der Nitzschia dissipata vorgenommenen Messungen mit. Die beiden andern Diatomeen zeigen analoge Werte. In Zwischenräumen von 5—10 Tagen wurde gemessen und gleichzeitig weitergeimpft, so daß die ganze Reihe Mittelwerte darstellt für in längeren Zwischenräumen aufeinanderfolgende Generationen. Als Maß diente: Seibert-Ocularmikrometer, Ocular V in Verbindung mit Wasserimmersion, als Vergleichsobjekt: Zeiß-Objektmikrometer.

Jede der in folgender Tabelle wiedergegebenen Zahlen ist Mittelwert von 10—20 Einzelmessungen.

Tabelle 1.

	Länge in μ	Gürtelseite	Schalenbreite
1	52,5	5,2	5,0
2	51,5	5,0	4,9
3	49,4	4,8	4,5
4	48,1	4,8	4,4
5	47,9	4,8	4,2
6	47,9	4,6	3,8
7	47,5	4,5	3,5
8	46,0	4,4	3,5
9	45,5	4,5	3,4

Die geringen Unregelmäßigkeiten, die in diesen Reihen auftreten, sind darauf zurückzuführen, daß, wie O. Müller[2]) zeigte, die größeren Individuen auch eine größere Vermehrungsgeschwindigkeit besitzen. Es geht aus den Messungen hervor, daß sich alle drei Dimensionen, also auch das Volumen, mit fortschreitender Vermehrung verringern.

[1]) O. Richter, Zur Physiologie der Diatomeen II, S. 68.

[2]) O. Müller, Die Zellhaut und das Gesetz der Zellteilungsfolge von Melosira arenaria Moore. Pringsh. Jahrbücher XIV, S. 231—290.

4. Über die Ausscheidung eines agarlösenden Fermentes.

Richter[1]) teilt in seinen Arbeiten verschiedentlich Beobachtungen mit, die die Ausscheidung eines agarlösenden Fermentes durch Diatomeen wahrscheinlich machen. Diesen Angaben habe ich noch eine weitere Beobachtung hinzuzufügen, die ich mehrfach zu machen Gelegenheit hatte. In meinen ersten Kulturen war eine ganze Anzahl der großen Pinnularia viridis auf eine zweiprozentige, also sehr derbe Agarschicht ausgesät. Ausnahmslos blieben alle Exemplare wegen des zu großen Widerstandes bewegungslos liegen. Jedoch sank eine größere Anzahl senkrecht bis auf den Boden der Kulturschale ein. Da die Pinnularien in ihrer Bewegungsfähigkeit gehindert waren, so kann es sich nicht um eine mechanische Verletzung der Schicht handeln, auch nicht, wie man vermuten könnte, um eine Wasserentziehung, da die Exemplare teilweise dem Boden vollständig anlagen. Es bleibt also nur die Annahme eines agarlösenden Fermentes.

Verschiedentlich suchte ich auch Kolonien kleinerer Formen solange zu beobachten, bis an der Stelle der stärksten Anhäufung die ganze Agarschicht gelöst wäre. Dies ist aber nie eingetreten, da, jedenfalls infolge zu reichlicher Anhäufung von Abbauprodukten, schon lange vorher vollkommenes Absterben begann.

5. Chemotaxis.

Die Angaben Richters[2]) über chemotaktische Erscheinungen fand ich bei meinen Versuchen bestätigt. Zur Ergänzung sei mir gestattet, über einen Fall positiver Chemotaxis zu berichten, den ich mehrfach beobachten konnte, leider ohne die Möglichkeit, ihn willkürlich wiederholen zu können.

In Rohkulturen auf Richters „Mineralsalzagar“ befanden sich in der Nähe einer starken Diatomeenanhäufung einige kleine Bakterienkolonien. Als die Diatomeen in deren Bereich kamen, entstanden Wachstumsfiguren, wie sie durch die Mikrophotographie (Fig. 2) veranschaulicht sind. In einer gewissen Entfernung vom Zentrum der Bakterienkolonie lagen fast alle Diatomeen tangential. Innerhalb dieser Zone strebten jedoch alle Exemplare ausnahmslos radial in das Zentrum, um sich nach einigen Tagen wieder zu zerstreuen. Offenbar handelt es sich bei dieser Erscheinung um Chemotaxis, hervorgerufen durch die Abbauprodukte jener Bakterien.

---

[1]) O. Richter, Zur Physiologie der Diatomeen I, S. 66. Ders. II, S. 43. Ders., Die Ernährung der Algen, S. 40.

[2]) O. Richter, Zur Physiologie der Diatomeen I, S. 57. Ders. II, S. 36. Ders., Die Ernährung der Algen, S. 75.

6. Zonenförmiges Wachstum der Diatomeen.

Wiederholt konnte bei Diatomeenkolonien scharf ausgeprägtes zonenförmiges Wachstum beobachtet werden, sowohl in rohen als auch in bakterienfreien Kulturen (Fig. 3). In Rohkulturen richteten sich die Ringe genau nach dem vorausgegangenen, ringförmigen Wachstum von Bakterien, und zwar so, daß an Stelle eines Bakterienmaximums ein Diatomeenminimum auftrat. Dies ist also zweifellos negative Chemotaxis. Wie jedoch ähnliche Bildungen in nachgewiesenen Reinkulturen auftreten konnten, kann ich nicht entscheiden. Eine Folge der Belichtungsreize durch den Wechsel von Tag und Nacht, wie es bei Pilzen der Fall ist[1]), liegt nicht vor, denn der Zeitraum zwischen der Bildung zweier Nachbarringe dehnte sich über mehrere Tage aus. Es könnte sich jedoch um eine gewisse Periodizität der Teilungen handeln.

Kulturen auf höherer Nährschicht, im unteren Ende schräger Röhren, zeigten, daß sich die Zonen nicht nur in der Ebene ausbreiten, sondern die Impfstelle halbkugelförmig umgeben.

Die häufig auftretende Bildung von Niveauflächen ist jedenfalls als Anpassung an eine bestimmte chemotaktische Gleichgewichtslage anzusehen. Ich erinnere hier an eine Angabe Richters[2]), der bei feiner Verteilung des Impfmaterials in stehenden Agarröhren nach einiger Zeit $^1/_2$ cm unter dem Meniskus parallel zu diesem eine besonders starke Diatomeenanhäufung fand und daraus auf die Anpassung an eine gewisse Sauerstoffspannung schloß.

Sehr leicht läßt sich diese Erscheinung durch Stichimpfung auf Nährsubstrat von niedriger Agar-Konzentration wiederholen ($^1/_2$%).

Um die Abhängigkeit der Diatomeen vom O der Luft näher zu untersuchen, verschloß ich einige der Stichkulturen luftdicht. In erster Zeit fand in verschlossenen und unverschlossenen Röhren gleichmäßig starkes Oberflächenwachstum statt, während das Innere des Substrates fast unbelebt blieb. Dieser Zustand dauerte bei den verschlossenen Röhren an, während bei den nur mit Wattestopfen versehenen Kulturen das Vegetationsmaximum als scharf begrenzte Niveaufläche langsam bis zu $^3/_4$ cm, parallel zum Meniskus, einsank. Hieraus könnte man sehr wohl auf eine Beziehung der Diatomeen zu einer gewissen Sauerstoffspannung schließen, und zwar muß diese Spannung geringer sein als die der Luft. Darum trat in den luftdicht verschlossenen Röhren, bei denen sich der freie O nicht von außen ergänzen konnte, kein Sinken ein.

---

[1]) Hoffmann, Wachstumsverhältnisse einiger holzzerstörender Pilze. — Gallemaerts, De la zonation des cultures de champignon.

[2]) b. I. l. c. I, S. 48.

Bei längerer Ausdehnung der Versuche zeigte sich aber, daß die Beziehung nicht ganz so einfach ist. Es bildeten sich nämlich unterhalb der ersten Niveaufläche in nicht regelmäßigen Abständen noch 1 bis 3 weitere Vegetationsmaxima, ohne daß die oberste Fläche an Lebensfähigkeit eingebüßt hätte. Diese neuen Anhäufungen zeigen weniger scharfe Grenzen. Es treten also zu der einfachen Beziehung zum O der Luft einige komplizierende Faktoren hinzu. Unter diesen steht an erster Stelle die Wirkung der eigenen Abbauprodukte und die durch Agar fast garnicht behinderte Diffusion. Da zu den Abbauprodukten auch die zahlreich ausgeschiedenen O-Ansammlungen zu rechnen sind, so ist es wohl verständlich, daß die weitere Verfolgung der Beziehung zum O der Luft als aussichtslos aufgegeben wurde.

7. Absonderung von Schleim in Reinkulturen.

Eine sehr häufige Erscheinung, besonders in Flüssigkeitskulturen, ist die Ausscheidung großer Schleimmassen durch die Diatomeen, mit denen sie sich als dicker, meist netzartiger Belag an den Wänden der Gefäße befestigen. Diese Bildung tritt nicht nur in Rohkulturen auf, sondern besonders stark auch in Reinkulturen. Innerhalb dieser Schleimmassen findet oft eine Abwanderung der Diatomeen auf die sonst unbenetzten Glaswände statt. So konnte ich in einem Fall beobachten, wie dieselben auf diese Weise eine oberhalb der Nährlösung befindliche, besonders hell beleuchtete Linie erreichten. Auch in Oberflächenkulturen auf Agar entsteht häufig eine derartige Absonderung von Schleim. Dadurch bekommt der Rand solcher Kolonien jenes charakteristische Aussehen, wie es durch die Photographien Fig. 4—7 wiedergegeben ist. (Fig. 4, 5, 6, 7.) Innerhalb der den Rand bildenden Schleimstreifen findet stets eine lebhafte Bewegung statt. Meist eilt ein einzelnes Individuum voraus und die übrigen drängen sich auf dem vorgezeichneten Wege nach. Diese Bewegungsart ist also auf möglichste Umgehung der Reibung an dem Substrat gerichtet. Zugleich illustriert Fig. 4 einen Fall von starker negativer Chemotaxis gegenüber den Abbauprodukten. Während das Innere der Kolonie wenig belebt ist, strebt die größte Anzahl der Diatomeen in schneller Bewegung nach allen Seiten auseinander. In Fig. 7 ist der abgesonderte Schleim als dunkel begrenzte Zone sichtbar. Die Zähigkeit dieser Schleimfäden geht daraus hervor, daß man sie leicht mit der Nadel vom Substrat abziehen kann, ohne sie zu zerreißen.

8. Die Bedeutung der Schüttelkulturen.

Um die Vermehrung von Diatomeen zu beobachten, muß man von Einzelindividuen ausgehen. Dies erreicht man bei deren geringer Größe am besten durch Schüttelkulturen. In den noch flüssigen

Agar-Nährboden wird kurz vor dem Erstarren bei 40° eine kleine Menge von Diatomeen übertragen und durch Schütteln gut verteilt. Nach dem gleich darauf erfolgenden Erstarren sind meist alle Individuen isoliert voneinander im Substrat inseriert. Durch die Größe der aus ihnen entstehenden Kolonien ist die Vermehrung leicht zu kontrollieren. Zugleich besitzt man in der Schüttelkultur ein wertvolles Maß für die Lebensfähigkeit des Materiales. Denn Diatomeen, die durch lange Laboratorienzucht geschwächt sind, können eine Temperatur von ca. 40° nicht ertragen und kommen infolgedessen in solchen Kulturen nicht zur Entwicklung.

III. Kulturen in farbigem Licht.

Es ist, wie ich schon früher sagte, für den Vergleich der Wirkung verschiedenartiger Strahlen auf die Chromatophoren in erster Linie nötig, zu untersuchen, welche Lichtfarben von den assimilatorisch wirksamen Farbstoffen absorbiert, welche durchgelassen werden. Darum wende ich meine Aufmerksamkeit zuerst dieser Aufgabe zu. Da zu den Lichtversuchen auch eine in steter Aplanosporenbildung sich vermehrende Grünalge aus der Gattung Chlorococcum herangezogen wurde, rekapituliere ich hier in Kürze die bekannten spektralanalytischen Befunde, sowohl an grünen als auch an gelbbraunen Chromatophorenfarbstoffen.

1. Die Absorptionsspektra.

Grüne Algen besitzen ein Absorptionsmaximum im Rot zwischen den Fraunhoferschen Linien B und C, ein etwas geringeres in Orange bei C½D. Dann folgt das gelbgrüne Absorptionsminimum, unterbrochen von zwei sehr schwachen Streifen. Die große Endabsorption beginnt im Blau bei E½F und besitzt zwischen F und G eine nur sehr wenig lichtdurchlässigere Stelle.

Die Gesamtheit der Diatomeenfarbstoffe zeigt im langwelligen Teil des Spektrums keine erheblichen Unterschiede gegenüber der Summe der Farbstoffe bei grünen Pflanzen. Im kurzwelligen Teil jedoch beginnt die Endabsorption schon erheblich früher, im Grün etwa bei D½E.

Da das Chlorophyll beiden Algen gemeinsam ist, werden die Unterschiede durch die als Sensibilisator dienenden gelblichen Farbstoffe, Xanthophyll und Diatomin, bedingt. Innerhalb der Endabsorption findet in beiden Fällen nach Engelmann[1]) die stärkste Auslöschung der Strahlen im äußersten Violett statt. Leider fehlen überhaupt noch rein objektive Messungen mit Bolometer oder Thermoelement,

[1]) l. c. b. S. 85.

die genau Aufschluß gäben über die Energieverteilung in den Absorptionsspektren der assimilatorisch wirksamen Farbstoffe. Die einzigen mir in dieser Richtung bekannten Versuche von Detlefsen[1]) genügen durchaus nicht den Anforderungen.

2. Die Lichtfilter.

Von der Ausführung der Kulturen im direkten Sonnenspektrum mußte ich absehen, denn es ist trotz Verwendung eines Heliostaten nicht möglich, ein Spektrum von genügender Leuchtkraft zu erzeugen, da der Spalt im Interesse der Farbenreinheit ziemlich eng zu wählen ist. Auch die mit den mir zu Gebote stehenden Hilfsmitteln erreichbare Ausdehnung des Spektrums war so gering, daß schon dadurch die Reinheit desselben nach Durchgang durch das Nährmedium gestört war. Demnach war ich genötigt, das Sonnenspektrum durch Lichtfilter in möglichst eng aneinanderschließende Spektralbezirke zu zergliedern. Ich suchte also eine lückenlose Reihe von Strahlenfiltern ausfindig zu machen, deren jeder nur ein eng begrenztes Spektralgebiet durchließ, alle anderen Strahlen aber vollkommen auslöschte.

Von den sehr lichtdurchlässigen farbigen Gläsern sah ich ab, weil die grünen und blauen Scheiben stets einen Teil der roten Strahlen durchlassen. Die von mir benutzten Farblösungen haben diesen Nachteil nicht, weisen aber große Unterschiede in der Intensität des durchgelassenen Lichtes auf. Zu ihren Gunsten sprechen zwei weitere Umstände. Von vornherein ist es möglich, sie auf einen besonderen Spektralbezirk abzustimmen. Außerdem erwärmen sie sich nicht in dem Maße wie farbige Gläser bei der Bestrahlung.

Die Zusammensetzung der Farblösungen ist in folgender Tabelle wiedergegeben:

w = farblos = dest. H_2O.

1 = rot = Neutralrot in H_2O.
2 = rot-gelb = Methylorange in H_2O.
3 = orange-gelb = Safranin in $CuSO_4$-Lösung.
4 = gelb = Bismarckbraun in konz. $CuSO_4$.
5 = gelbgrün = konzentrierte $CuSO_4$ + $K_2Cr_2O_7$-Lösung. (Zettnowsches Filter.)
6 = blaugrün = Berliner Blau in Oxalsäure-Lösung.
7 = hellblau = Säuregrün + Methylgrün in $CuSO_4$.
8 = dunkelblau = Paramethylblau in $CuSO_4$.
9 = violett = Methylviolett + Methylenblau in $CuSO_4$.

Die konzentrierte $CuSO_4$-Lösung als Medium für die Farbstoffe 3, 4, 7, 8 und 9 wurde mit bestem Erfolge zur Absorption des roten Spektralbezirkes verwendet.

[1]) Detlefsen, Die Lichtabsorption in assimilierenden Blättern.

Die spektralanalytischen Untersuchungen und die Bestimmung der von den Lösungen durchgelassenen Strahlungsenergie wurden unter freundlicher Leitung von Herrn Geheimrat Professor Dr. Dorn im hiesigen physikalischen Institut durchgeführt.

Zur Bestimmung der von den Filtern durchgelassenen Energie diente eine Wismut-Antimon-Thermosäule in Verbindung mit einem Galvanometer nach Carpentier. (Fernrohrablesung, Skala in 2 m Entfernung.) Diese Anordnung hat vor der Kniep-Minderschen[1]) den Vorteil bedeutend größerer Empfindlichkeit, ist jedoch nicht vollkommen sicher gegen äußere Störungen, wie das Vorüberfahren der elektrischen Straßenbahn. Diese lassen sich aber leicht durch vergleichende Messungen ausschalten.

Die Thermosäule war in der Hinterwand eines meiner Kulturkästen angebracht. In der Vorderwand desselben befand sich ein Fenster, das durch die Gefäße mit den Farblösungen mittels Schiebervorrichtung verschlossen werden konnte. Zur Isolierung war das Ganze untergebracht in einem größeren Kasten, dicht mit Watte verstopft. Die Vorderseite dieses Kastens bildete eine doppelte Blechblende mit rundem Ausschnitt, der wieder mit einer großen, blanken Blechscheibe verschlossen werden konnte.

Wichtig ist, daß der Stromkreis während der ganzen Versuchsdauer geschlossen blieb. Gemessen wurde der Unterschied des Galvanometerausschlages bei geschlossener und geöffneter Blende.

Da es sich in dieser Arbeit nur um den Vergleich der Wirkungen verschiedener Farben handelt, konnte ich von absoluten Messungen der Energie absehen. Die relative Energie des durchgelassenen Lichtes kann bei der Größe des Skalenabstandes vom Galvanometer dem Galvanometerausschlage direkt proportional gesetzt werden. Als Vergleichsobjekt diente hierbei die farblose Filterschicht w, an der stets zwischen je zwei Messungen eine Kontrollbeobachtung gemacht wurde. Auf diese Weise war es leicht, zu verläßlichen Werten zu gelangen.

Ein nicht zu beseitigender Nachteil meiner auf langwierigen Kulturversuchen beruhenden Methode gegenüber den nur kurze Zeit jedesmal beanspruchenden Kniep-Minderschen Versuchen bestand in der Unmöglichkeit, die Energieschwankungen stetig zu kontrollieren. Da während eines Kulturversuches nach Tageszeit, Bewölkung u. s. f. verschiedene Beleuchtungsverhältnisse vorkamen, wurden also auch die Energiemessungen bei verschiedener Witterung und zu verschiedenen Tageszeiten ausgeführt. Durch eine große Anzahl vergleichender Beobachtungen wurden schließlich konstante Werte gefunden.

---

[1]) l. c. S. 630.

Die qualitative Untersuchung der Farblösungen geschah mit dem Spektrometer. Die Angabe des Minimums der Absorption entbehrt also absoluter Objektivität.

In folgender Tabelle sind die Resultate der thermoelektrischen Energiebestimmung zusammengestellt mit den Ergebnissen der spektralanalytischen Untersuchung. Die Wellenlänge λ ist ausgedrückt in μ.

Tabelle 2.

Farbe		Bezirk der durchgelassenen Strahlen	Minimum der Absorption	relat. Energie (thermoel.)
w	weiß	ultrarot—violett		100
1	rot	ultrarot—0,644	ca. 0,700—0,680	32,9
2	rot-gelb	0,681—0,586	0,660—0,618	27,7
3	orange-gelb	0,648—0,581	0,638—0,594	7,5*
4	gelb	0,623—0,532	0,605—0,563	4,5*
5	gelbgrün	0,625—0,500	0,589—0,525	9,9
6	blaugrün	0,519—0,476	0,503—0,486	3,1
7	hellblau	0,511—0,469	0,498—0,481	2,6
8	dunkelblau	0,474—0,438	0,461—0,449	1,7
9	violett	0,449—0,423	0,441—0,430	1,2

* Die Filter 3 und 4 zeigten schon bei der Betrachtung mit bloßem Auge sehr geringe Lichtstärke.

Um zu untersuchen, welche Lösungen ultrarote Strahlen durchlassen, wurden Messungen vorgenommen, bei denen vor die Filterlösung noch eine Ebonitplatte (Dicke 1,85 mm) oder eine Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff (Schichtdicke 1 cm) eingeschaltet war. Die Ebonitplatte erscheint absolut undurchsichtig. Sie läßt nur ultrarote Strahlen durch. Die Jodlösung erschien gegen den Himmel auch undurchsichtig, jedoch war die Sonne als ganz schwach rote Scheibe sichtbar. Diese Lösung ließ also außer ultrarotem Licht noch das äußerste sichtbare Rot durch.

Bei diesen thermoelektrischen Beobachtungen zeigte sich, daß die Filter 3—9 gar kein ultrarotes Licht durchlassen. Der Durchlaßbereich des Filters 2 geht bis ins äußerste sichtbare Rot, während 1 und w noch einen beträchtlichen Teil ultraroter Strahlen durchlassen.

In folgender Tabelle sind die diesbezüglichen Messungen mitgeteilt.

Tabelle 3.

I.

	Filter allein	Filter + Ebonit	Ebonit allein
w	100	0,6	7,0
1	33,2	0,2	6,8
2	28,1	0,0	7,1

II.

	Filter allein	Filter + Jodlösung	Jodlösung allein
w	100	6,3	25,4
1	32,8	3,0	26,1
2	27,9	0,1	25,8

3. Methodik.

a) Die Versuchsanordnungen.

Bei den Lichtversuchen wurden zwei verschiedene Anordnungen getroffen, die im Folgenden kurz beschrieben sind.

Die einfachere Art bestand darin, daß in der Oberseite eines im übrigen lichtsicher schließenden Kastens in einer Blendenöffnung die Filterfarbe in 1 cm hoher Schicht angebracht war. Zuerst wurden flache Schalen zur Aufnahme der Lösungen verwendet, die allseitig weit über die Blenden herausragten. Später benutzte ich flache annähernd planparallele Flaschen von 1 cm lichter Weite, die mittels Schlitteneinrichtung vor der Blendenöffnung angebracht wurden. Die Kulturgefäße wurden direkt unter der Filterschicht aufgestellt.

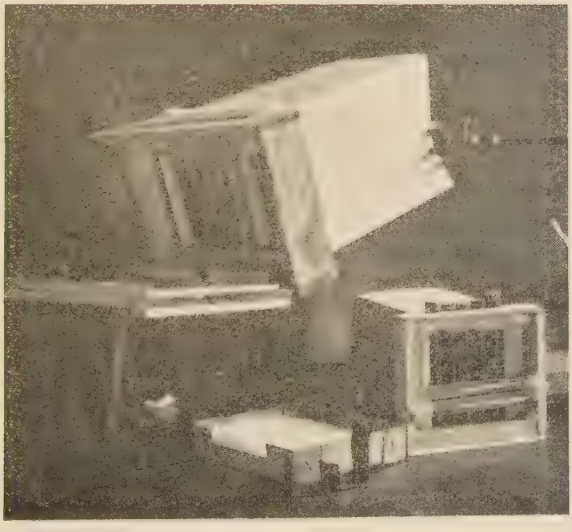


Fig. 1.

Die zweite Anordnungsweise ist von dieser in mancher Hinsicht verschieden, so daß ich etwas näher darauf eingehen muß. Sie ist hervorgegangen aus dem Bedürfnis, in demselben Kulturgefäß nebeneinander die verschiedenen Farben wirken zu lassen.

Ein schmaler Kasten, der zur Aufnahme der übereinander horizontal liegenden Kulturröhren dient, ist an der großen Rückwand mit lichtsicher schließender Klappe versehen. In der Vorderwand befindet sich ein Fenster, in dem, eng aneinanderschließend, zylindrische Glasgefäße vertikal nebeneinander angebracht sind. Diese Glaszylinder dienen zur Aufnahme der Filterflüssigkeiten. Vor dem Fenster befindet sich noch ein 30—40 cm langer Lichtschacht. Figur 1 veranschaulicht zwei solcher Apparate.

Bei parallel einfallendem Licht würde hinter jedem Zylinder eine ziemlich scharfe Brennlinie entstehen. Da hier aber das vom Himmelsgewölbe zerstreute Licht zur Anwendung kam, von dem der Licht-

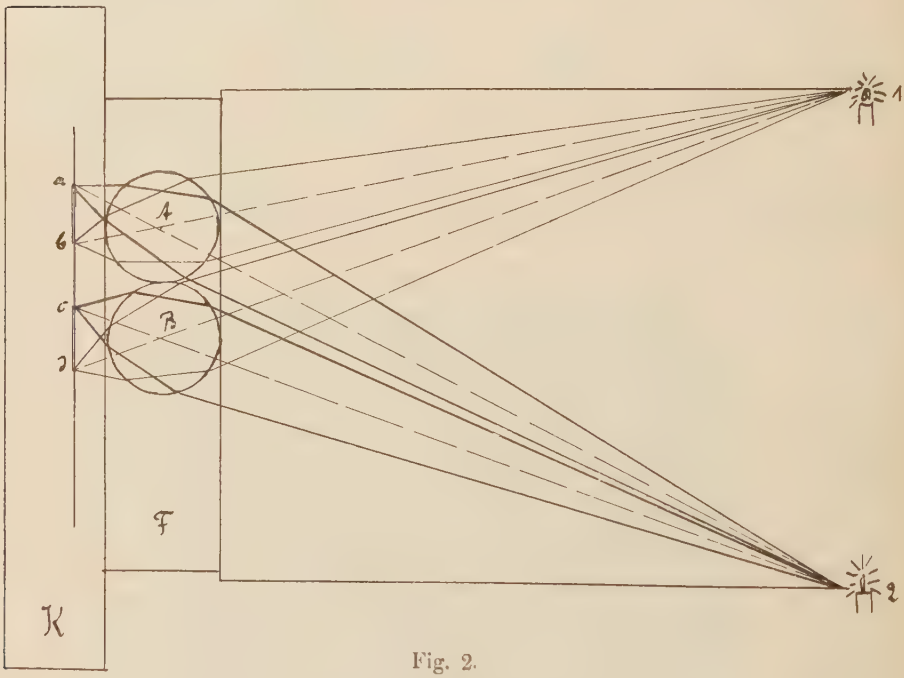


Fig. 2.

schacht die in zu großem Winkel auffallenden Strahlen abhielt, so entsteht hinter jedem Zylinder ein scharf begrenzter Brennstreifen, dessen Breite umgekehrt proportional der Länge des Lichtschachtes ist. Diese ist demnach so groß zu wählen, daß die Breite der Streifen kleiner ist als der Durchmesser der Zylindergefäße. Es bleibt dann zwischen zwei Nachbarstreifen stets eine völlig dunkle Zone. Der Strahlengang ist in dem schematischen Grundriß Fig. 2 dargestellt. Bei Anwendung genügend dünner Glaswände verursachen diese keine Fehler in der Beleuchtung.

Die Kulturröhren liegen senkrecht zu den Farbzylindern (A und B), so in dem Raume K, daß die Brennstreifen (ab und cd) möglichst günstig in das Substrat fallen.

Da sich alle Farben unter gleichen Bedingungen befinden, kommt die Energieänderung durch die Strahlenbrechung nicht in Betracht. Nur ist durch gleichmäßige Form des Kultursubstrates dafür zu sorgen, daß der Strahlengang an verschiedenen Stellen desselben nicht merklich verschieden ausfällt.

Durch längere Ausdehnung eines Versuches kann man sich leicht von der Brauchbarkeit der Anordnung überzeugen. Es wechseln dann vollkommen unbelebte Strecken mit solchen ab, die durch und durch mit Organismen erfüllt sind. Auf diese Weise hat man schon makroskopisch ein gutes Übersichtsbild über den Ausfall des Versuches. Außerdem ist zu bemerken, daß Versuche nach dieser Anordnung keine anderen Resultate lieferten, als die nach der vorher beschriebenen Methode.

b) Das Maß für das Wachstum.

Zunächst war es nötig, ein von Subjektivität möglichst freies Maß für die Vermehrungsgröße zu finden. Dieses bot sich am sichersten durch die oben beschriebenen Schüttelkulturen, mit denen schon Richter[1]) so elegante Resultate bei seinen Versuchen über Phototaxis erzielte. Bei genügend sorgfältiger Verteilung des Ausgangsmateriales im Nährsubstrat bilden die neu entstehenden Kolonien in ihrer Individuenzahl ein genügend sicheres Maß für das Wachstum. Allerdings kommen oft infolge individueller Veranlagung der Einzelorganismen ziemliche Schwankungen unter sonst gleichen Verhältnissen vor. Diese lassen sich aber leicht durch eine größere Menge von Zählungen ausgleichen. Anderseits beeinträchtigen sich nahe aneinanderliegende Kolonien in ihrer Vermehrung nicht merklich, was bei dem geringen Nährstoffbedürfnis begreiflich erscheint. Die Versuche durften nämlich nicht zu lange ausgedehnt werden, weil man nur bei relativ kleinen Kolonien mit Sicherheit die Individuenzahl feststellen kann. Im Sommer betrug die Dauer einer Versuchsreihe 1 bis 2 Wochen, im Winter ungefähr doppelt so lange. Eine Benachteiligung der Kolonien untereinander trat erst sehr viel später auf, wenn die Einzelkolonien nicht mehr voneinander zu unterscheiden waren.

Als Substrat diente für die Diatomeen durchweg der früher angegebene Nährboden mit Asparagin und Äpfelsäure als organischen

[1]) l. c. a S. 57.

Zusätzen. Wie früher ausgeführt wurde, ermöglicht dieser Nährboden bei Diatomeen keine Vermehrung in Dunkelkulturen. Da sich aber die grüne Alge auf diesem Substrat reichlich bei Lichtabschluß vermehrte, wurden für dieselbe die organischen Zusätze fortgelassen.

Einige Versuche auf dem reinen „Mineralsalzagar" mit den drei reingezüchteten Diatomeen, sowie mit einigen Formen, die nicht als absolute Reinkultur gewonnen werden konnten, führten, wenn auch langsamer, zu dem gleichen Resultat wie die Kulturen bei besserer Ernährung. Das entspricht der von mir im Anschluß an Richter[1]) wiederholten Erfahrung, daß wenigstens keins der darauf geprüften Substrate eine Vermehrung der Diatomeen im Dunkeln erlaubte.

4. Die praktische Ausführung.

Wie schon aus dem Vorhergesagten hervorgeht, wurden Schüttelkulturen in schrägen Röhrchen mit möglichst gleichmäßiger Substratleiste den farbigen Strahlen ausgesetzt. Nach Beendigung des Versuches wurden mit der Platinnadel einzelne Kolonien in kleinen Agarstückchen auf den Objektträger übertragen und ausgezählt. Dabei wurden möglichst verschiedene Stellen des bestrahlten Substrates berücksichtigt. Wo es anging, wurde auch durch die Wandung des Kulturgefäßes hindurch gezählt.

Bei größeren Kolonien mußte der Zeichenapparat zu Hilfe genommen werden. Jede der im Folgenden mitgeteilten Zahlen ist Mittelwert von ca. 20—30 Einzelzählungen. Dabei diente der hinter der farblosen Schicht w gefundene Wert als Normalmaß. Er wurde gleich 100 gesetzt und die übrigen Zahlen der Reihe danach umgerechnet.

Um einen Anhalt für die unter gleichen Umständen vorkommenden Schwankungen in der Vermehrungsgröße zu geben, teile ich hier die Zahlenreihe mit, aus deren Mittelwert die erste Zahl der Tabelle für die Navicula minuscula berechnet wurde.

Einzelzählungen:	26	29	35	41	22
	28	35	34	36	29
	24	37	30	35	27
	29	32	31	36	33

Mittelwert: 31,5.

Das Mittel der in der gleichen Reihe für das Filter w gefundenen Zahlen war 158,3, dieser wurde = 100 gesetzt. Demnach war auch die Zahl 31,5 durch 1,583 zu dividieren. Es resultiert daraus die Zahl 19,9.

[1]) l. c. b. I. S. 39.

Die Vermehrungsreihen.

Tabelle 4.

α. Navicula minuscula.

Filter	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	19,9	47,3	42,6	8,1	22,5	23,5	14,7	6,9	3,4
	26,1	50,1	43,9	10,2	25,4	25,6	17,2	8,1	5,0
	20,9	48,4	41,7	9,4	24,2	24,4	16,4	7,2	3,9
	19,5	43,4	39,2	7,9	20,3	22,5	14,9	7,0	4,1
	20,9	78,5	52,1	9,2	29,9	33,7	19,9	11,2	6,5
	19,5	74,8	48,7	9,2	28,0	31,9	19,5	10,6	4,9
	18,4	68,7	46,2	8,9	26,1	30,4	18,5	9,3	5,4
	27,8	67,3	52,5	18,0	35,4	37,3	32,1	22,3	12,8
	36,2	75,6	58,4	18,1	40,6	43,5	24,0	18,9	10,9
	38,6	82,9	62,1	19,9	44,3	45,4	24,5	19,7	9,0
	41,3	83,4	65,8	20,5	44,7	46,4	25,3	20,5	13,1
	44,7	89,8	60,2	25,5	51,1	51,2	33,9	21,7	12,1
	41,3	83,2	60,0	24,1	46,3	46,6	30,1	21,5	12,5
	39,8	75,6	54,3	18,6	38,7	41,4	29,7	24,7	18,8
	38,4	78,4	61,7	22,4	35,3	38,6	27,1	19,9	14,8
	24,6	61,4	48,6	16,1	34,5	37,0	29,7	19,4	9,9
	23,7	60,6	49,0	16,2	31,2	32,4	28,1	18,2	9,6
	22,3	58,7	47,1	15,3	31,3	34,9	27,3	18,3	9,7
Mittel	29,1	68,2	51,9	15,4	33,9	35,9	24,1	15,9	9,2

Tabelle 5.

β. Nitzschia Palea.

Filter	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	23,5	70,6	53,5	20,5	41,6	50,7	26,6	13,7	6,8
	21,5	69,8	53,9	19,7	41,3	50,1	24,9	13,0	6,0
	24,0	71,7	54,6	22,8	43,1	51,0	28,3	15,9	8,5
	19,3	65,7	46,0	16,7	28,5	36,3	23,9	11,9	7,1
	23,8	69,8	49,2	19,4	36,1	40,5	27,0	12,8	8,5
	21,5	68,5	48,8	17,9	32,3	37,2	24,1	12,2	8,4
	13,7	62,1	43,2	9,8	19,4	22,6	22,5	10,6	8,7
	17,2	66,7	47,7	10,1	22,4	25,6	26,1	12,1	10,7
	14,1	64,8	44,1	10,4	20,9	23,8	24,3	11,5	9,4
	14,4	50,8	40,7	10,1	24,3	25,9	19,7	11,0	8,8
	16,8	53,7	41,5	10,5	25,4	28,1	20,4	11,6	9,2
	18,8	55,7	44,9	11,0	26,7	30,4	24,6	14,3	11,6
	17,1	52,2	43,7	10,8	26,8	28,8	24,1	14,1	10,4
	17,9	67,0	46,5	10,6	25,7	29,8	24,4	11,8	7,1
	22,5	79,5	52,0	11,9	30,9	37,7	26,3	16,1	9,3
	21,0	78,4	50,2	11,6	29,3	36,4	24,2	13,5	8,4
	18,6	71,3	47,3	11,1	26,1	32,1	22,5	12,6	7,6
	41,6	78,9	58,0	18,4	41,2	42,0	34,6	25,1	18,3
Mittel	20,4	66,5	48,1	14,1	30,1	34,9	24,9	13,5	9,2

Tabelle 6.

γ. Nitzschia dissipata.

Filter	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	34,1	59,4	52,8	24,1	41,8	43,0	26,3	15,8	7,5
	33,6	57,2	49,7	23,0	36,8	37,9	25,1	14,9	10,6
	36,1	64,0	56,5	24,9	41,4	42,1	26,6	18,3	13,4
	24,3	79,3	54,3	21,0	36,1	38,9	23,6	18,0	9,9
	22,7	72,9	51,6	19,6	33,7	38,6	21,7	17,2	9,5
	25,0	81,8	56,1	22,4	38,2	39,5	23,7	21,8	12,4
	35,1	74,5	52,2	11,1	37,5	29,1	23,0	14,9	10,5
	31,3	67,3	51,3	10,3	32,1	32,6	22,9	13,8	10,1
	27,5	59,8	47,3	9,8	29,4	31,3	21,0	12,7	9,1
	17,3	52,8	48,3	10,6	25,5	27,2	16,9	9,2	7,4
	20,7	59,2	49,7	14,8	28,5	28,8	23,1	13,4	11,0
	22,5	65,0	48,1	24,7	43,8	44,1	27,7	17,5	11,7
	31,7	77,0	53,9	27,3	48,2	49,9	32,3	18,5	12,5
	27,5	67,2	55,1	10,1	41,0	42,3	24,0	12,8	9,7
	24,1	61,4	52,7	11,6	38,7	39,1	20,1	11,1	7,3
	23,4	57,4	51,2	8,9	34,3	35,6	19,9	10,9	8,5
	29,9	59,1	50,1	24,9	42,6	49,0	26,5	21,2	12,6
	33,3	59,3	53,3	25,8	44,6	52,9	28,8	22,7	16,5
	28,6	55,6	46,6	21,3	41,8	46,1	24,5	19,7	12,3
	16,3	51,6	43,8	9,5	30,2	31,4	28,4	15,2	7,4
	12,2	72,4	37,5	12,4	34,1	35,6	19,3	10,6	5,9
	15,1	80,6	47,5	18,9	39,2	40,3	23,2	12,3	10,8
	13,3	79,1	41,4	18,0	37,8	38,9	21,2	11,7	7,8
	11,7	69,7	36,8	14,6	36,0	36,8	20,7	11,0	7,1
	14,7	76,2	39,3	17,6	37,9	38,4	20,6	9,4	6,4
	18,2	52,7	45,1	9,1	34,1	25,3	25,1	14,7	9,1
	18,9	53,6	49,8	10,8	33,9	25,2	24,3	13,3	7,5
	19,8	56,5	49,3	13,4	37,8	34,1	32,2	17,6	11,6
	14,0	57,1	49,0	10,1	29,0	42,0	26,7	18,4	11,0
Mittel	20,8	64,4	48,9	16,6	36,7	37,8	24,1	15,1	9,9

Die für die drei Diatomeenformen gewonnenen Mittelreihen zeigen genügenden Parallelismus, so daß sie zu einer Hauptreihe kombiniert werden können.

Diese Hauptreihe hat folgende Gestalt.

Farbe	rot	rotgelb	orange	gelb	grün	blaugr.	blau	blau	violett
Filter	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vermehr.	23,4	66,4	49,6	15,4	33,6	36,2	24,4	14,8	9,4

Zum Vergleich wurden analoge Versuche mit der ebenfalls rein gezüchteten Chlorococcum-Grünalge ausgeführt. Die Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 7.

Filter	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	9,1	48,0	36,6	13,0	5,3	20,0	22,6	21,0	11,2
	12,0	53,6	35,8	10,1	4,4	19,5	34,4	16,7	5,0
	8,7	50,3	33,0	22,4	8,9	26,1	35,0	29,4	19,7
	12,1	57,4	30,3	20,2	6,0	17,7	26,3	18,1	17,9
	14,3	60,6	34,3	28,8	6,2	20,9	30,5	19,5	18,1
	12,9	60,3	52,7	29,7	8,1	21,3	33,0	28,9	24,6
	15,9	63,9	54,5	36,7	9,3	25,1	34,2	33,5	28,8
	8,9	51,0	31,7	15,9	4,5	24,2	30,6	25,5	8,1
	9,1	52,8	37,9	17,7	4,7	25,8	37,4	31,3	10,5
	8,9	56,8	31,5	13,4	3,9	14,8	23,4	20,5	10,6
	6,1	41,4	34,5	21,2	7,3	23,3	28,3	21,3	6,8
	10,3	53,4	40,2	18,7	5,1	25,6	31,5	26,6	10,1
	8,3	49,7	42,4	22,3	10,0	26,5	31,6	26,1	12,4
	9,0	49,1	31,8	12,9	4,2	18,5	25,4	18,1	3,2
	10,6	42,9	28,0	11,9	4,4	17,7	22,6	16,9	4,0
	8,9	45,1	31,7	20,9	5,3	14,0	25,8	17,8	9,1
	8,3	43,3	34,5	22,5	5,7	14,6	28,2	23,0	11,5
	13,2	57,6	32,9	17,4	6,2	13,4	22,6	18,7	7,5
	9,4	49,9	26,6	12,9	3,8	16,6	24,7	16,3	6,8
	14,5	50,3	38,1	10,4	6,4	25,3	32,8	21,6	5,5
Mittel	10,5	51,9	35,9	18,5	6,0	20,5	29,0	22,5	11,6

Die letzten Reihen der Tabellen 5, 6 und 7 entstammen einem Kontrollversuch, der im Winter 1910/11 unternommen wurde. Alle übrigen Reihen sind das Ergebnis von Versuchen aus dem Sommer und Herbst 1910.

5. Die Bedeutung der Energie.

Zur Vergleichung der spezifischen Wirkung der einzelnen Spektralbezirke sind die gewonnenen Wachstumsreihen (S. 24/25) nicht ohne weiteres verwertbar, da die wirksamen Energiebeträge sehr verschieden sind (cf. Tab. 2 S. 18). Damit ein Vergleich überhaupt ermöglicht wird, muß die Wirkung auf gleiche Energiebeträge bezogen werden. Darum sind die Zahlen der Wachstumsreihen (S. 24/25) mit $\frac{100}{p}$ zu multiplizieren, wo p den prozentischen Wert der Energie des betreffenden Spektralbezirkes (nach Tab. 2) bedeutet.

Hierbei ist Voraussetzung, daß das Wachstum für jede Stelle im Spektrum genau proportional der Energie ist, sich also bei Änderung der Lichtintensität in gleichem Maße ändert.

Es wäre natürlich sehr viel günstiger für meine Versuche gewesen, wäre es mir gelungen, die Farbenfilter von vornherein so aufeinander abzustimmen, daß die Energie der durchgelassenen Strahlen für alle

Lösungen annähernd gleich gewesen wäre. Dies ist nur sicher ohne Änderung des Spektralbezirkes durch rotierende Scheiben mit ausgeschnittenen Sektoren zu erreichen. Derartige Einrichtungen standen mir nicht zu Gebote. Deshalb muß nach Beendigung des Versuches die Umrechnung auf gleiches Energiemaß vorgenommen werden (cf. oben). Die Wachstumsreihen bekommen dadurch folgende Gestalt, die ich in Fig. 3 und 4 graphisch darzustellen versucht habe.

A. Diatomeen.

Spektralbezirk	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wachstum	7,1	24,0	66,1	34,2	34,3	116,8	93,9	87,1	78,3

B. Grünalge.

Farbe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wachstum	3,2	18,7	47,9	41,1	6,1	66,1	111,6	132,4	96,7

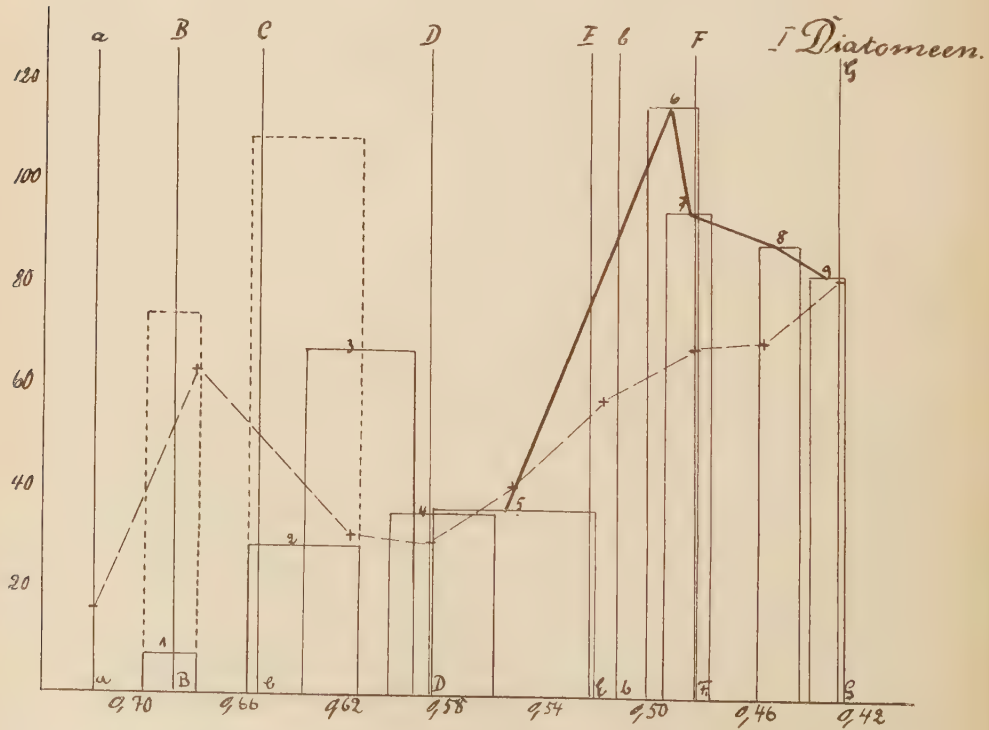


Fig. 3.

Die Wachstumswerte sind in Form von Rechtecken dargestellt, bei denen die Abszisse von dem hellsten Teil des betreffenden Spektral-

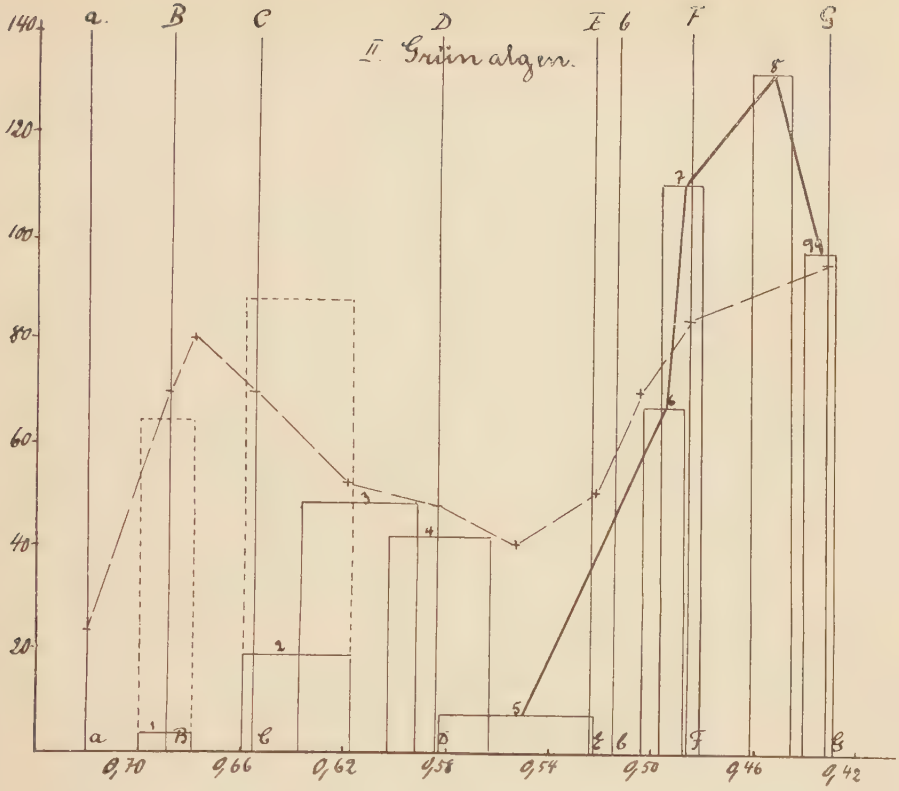


Fig. 4.

bezirkes, die Ordinate von der durch Umrechnung auf gleiches Energiemaß gewonnenen Zahl (S. 26) gebildet wird. Die Stellen für das absolute Minimum der Absorption bei den Filtern 5—9 sind durch eine ausgezogene Linie zu einer Näherungskurve verbunden. Die gestrichelte Linie ist die Wiedergabe der von Engelmann[1]) auf Grund spektrophotometrischer Messungen gewonnenen Absorptionskurve des Lichtes durch die Chromatophorenfarbstoffe von Diatomeen und Grünalgen.

An Stelle des rot-orange Absorptionsbereiches, der in den Spektralbezirken 1 und 2 liegt, wäre ein erstes Maximum zu erwarten. Dieses ist jedoch in beiden Reihen in den Bezirk 3, also nach Orange-gelb verschoben. Tatsächlich liegt aber keine Verschiebung des Maximums vor, sondern die für die Filter 1 und 2 resultierenden Zahlen erscheinen zu gering.

Die Lösung 1, die am besten den roten Absorptionsstreifen enthält, läßt auch noch einen beträchtlichen Teil ultraroter Strahlen durch.

[1]) l c. b. Tafel II, Fig. 1 und 2.

Da liegt der Gedanke nahe, es könne eine Schädigung durch langwelliges Licht eingetreten sein. Wahrscheinlich wird dies dadurch, daß in einem Kulturversuch hinter der Jod-Schwefelkohlenstoffschicht selbst nach monatelanger Frist nicht die mindeste Vermehrung festzustellen war. Bei dem ebenfalls bedeutend zu gering erscheinenden Wert für die Farbe 2, die den rot-orange Absorptionsbezirk in ihren Durchlaßbereich ziemlich vollständig einschließt, kann aber eine Schädigung durch Ultrarot nicht vorliegen. Hier muß ein anderer Faktor für die Kleinheit des Wachstumswertes verantwortlich gemacht werden, der zum Teil auch für das Filter 1 Geltung hat. Wie aus den früher mitgeteilten Energiemessungen hervorgeht, besitzen die Filter 1 und 2 gegenüber allen anderen eine ganz bedeutend gesteigerte Durchlässigkeit für Strahlungsenergie. Deshalb liegt der Gedanke nahe, die obige Voraussetzung eines vollkommenen Parallelismus zwischen Vermehrung und Assimilationsgröße einerseits und der Lichtintensität anderseits bestehe nur zum Teil zu Recht. Wo es sich um geringe Energiemengen und kleine Unterschiede derselben handelt, läßt sich gegen die Annahme jenes Parallelismus nichts einwenden. Bei starker Energiezufuhr kann aber die Steigerung der Vermehrung und Assimilation hinter der Energiezunahme zurückbleiben. Diese Erscheinung, die ich für die geringe Größe jener Zahlen verantwortlich mache, ist zurückzuführen auf ein gewisses Anpassungsvermögen an die den Organismen zusagende Lichtstärke.

Frei bewegliche Diatomeen, die ja nur mit ein oder zwei Chromatophoren ausgestattet sind, vermögen nicht, sich durch Umlagerung derselben dem Lichte anzupassen. Dafür besitzen sie aber in ihrer Bewegungsfähigkeit ein Mittel, auch schwaches Licht sehr gut auszunutzen, indem ihre normale Ruhelage stets die größte Chromatophorenfläche dem Lichte aussetzt.

Dies Verhalten läßt sich leicht demonstrieren durch einen Versuch, den ich, immer mit gleichem Erfolge, wiederholte.

Es wurden einige schräge Röhrchen nahe der Mündung geimpft und dann bis auf eine kleine Öffnung am entgegengesetzten Ende mit schwarzem Karton verhüllt. Sehr bald machte sich eine starke Bewegung nach der Lichtöffnung zu bemerkbar. Zugleich konnte man deutlich das Bestreben wahrnehmen, die Längsachse senkrecht zur Lichtrichtung zu stellen, wodurch ganz charakteristische, bäumchenförmige Wachstumsfiguren entstanden. Sobald sich die Kolonien über die ganze Kulturschicht ausgebreitet hatten, hörte die Bewegung zum Licht hin auf. Bis zu einer gewissen Entfernung von der Lichtöffnung lagen jetzt alle Exemplare senkrecht zum Lichteinfall. Zwischen dieser Stelle und der Lichtöffnung verwischte sich allmählich die Ausrichtung.

Den Gegensatz zu dieser Beobachtung bildet die Einstellung der Längsachse parallel zu den Lichtstrahlen bei zu starker Beleuchtung.

Die Folge dieser Anpassung macht sich bei der Umrechnung auf gleiches Energiemaß dadurch geltend, daß die bei hoher Lichtzufuhr gewonnenen Werte anderen gegenüber zu gering erscheinen. Berücksichtigt man dies, so wird allerdings das erste Maximum auch in meinen Reihen in den Bezirk der Filterfarben 1 und 2 zu verlegen sein. Da mir jedoch jedes objektive Maß dafür fehlt, so muß ich im Folgenden ganz davon abstehen, den Bereich des ersten Maximums mit in die Betrachtungen aufzunehmen. Ich kann also nicht entscheiden, ob für die von mir untersuchten Algen die Assimilation im roten Licht der im blauen gleichkommt. Jedoch sind aus den übrigen Werten der für gleiche Energie berechneten Reihen einige Schlüsse über den Verlauf der Assimilation innerhalb der Absorption im kurzwelligen Ende möglich. Diese erstreckt sich für Diatomeen von Grün bis Violett, also von Filter 6 bis 9, für Grünalgen von Blau bis Violett, also von Filter 7 bis 9.

Für diese Lichtfilter kommt eine verschiedene Ausnützung der Lichtintensität nicht mehr in Frage, da die durchgelassene Energie bei allen sehr gering ist. Würde sie dennoch ein wenig Bedeutung haben, so würde der Verlauf der Kurve nur um ein Geringes zu flach erscheinen, also die folgenden Ausführungen nicht stören.

Aus den mitgeteilten Werten geht hervor, daß bei gleicher Energieverteilung das Wachstum, mithin notwendig auch die Assimilation, innerhalb der Absorption im kurzwelligen Teil des Spektrums nicht überall die gleiche Höhe aufweist. Es befindet sich für Diatomeen im Blaugrün, etwa zwischen den Fraunhoferschen Linien C und F, für Grünalgen im Blau zwischen F und G ein Maximum. Von diesen Stellen aus nach Violett zu sinkt in beiden Fällen trotz gleicher Energie die Vermehrung und die Assimilation. Dieses Sinken der Assimilation ist nicht darauf zurückzuführen, daß etwa die Absorption auch in gleicher Richtung sinkt, denn nach den Messungen Engelmanns[1]) steigt die Absorption für Diatomeen und Grünalgen von Blau nach Violett. Es bleibt also nur die Annahme, daß bei der Assimilation neben der Energie auch die Wellenlänge des Lichtes einen bestimmenden Einfluß hat.

Dies widerspricht nicht ohne weiteres den Beobachtungen Kniep und Minders[2]), die bei gleicher Energie für Blau und Rot gleiche Assimilation fanden. Es kann sehr wohl innerhalb desselben Absorptionsstreifens Unterschiede in der Assimilation geben.

---

[1]) l. c. b. S. 91. [2]) l. c. S. 646.

Kniep und Minder[1]) gaben zu, daß unter Umständen die Ausdehnung des Spektralbezirkes, in dem beobachtet wird, eine große Rolle spielen kann. Dies könnten sie aber außer Acht lassen[2]), da die Bezirke der von ihren roten und blauen Scheiben durchgelassenen Strahlen annähernd gleich groß wären. Die qualitative Untersuchung ihrer Lichtfilter führte zu folgendem Ergebnis[3]):

Die Rotscheibe läßt durch: Licht von $\lambda = 608$ μμ bis Ultrarot. Die Blauscheibe läßt durch: Licht von $\lambda = 523{,}8$ μμ bis Ultraviolett, außerdem einen schwachen Streifen zwischen D und F und einen ganz schwachen bei B.

Sieht man von diesen beiden schwachen Streifen ab, so ist die Ausdehnung der Spektralbezirke beider Gläser im sichtbaren Spektrum ziemlich gleich. Tatsächlich ist aber bei ihnen ein großer Unterschied in der Einwirkung auf die Pflanze vorhanden, denn in erster Linie kommt es nicht auf die von den Lichtfiltern durchgelassenen Strahlen an, sondern nur auf den Teil derselben, der auch tatsächlich von den Chromatophorenfarbstoffen absorbiert wird. Demnach erstreckt sich in den Kniep-Minderschen Versuchen die Wirkung der blauen Strahlen über einen bedeutend größeren Spektralbezirk als die der roten, da von den durch die Rotscheibe dringenden Strahlen nur der kleinere Teil assimilitorisch wirksam ist, während alle durch die Blauscheibe gehenden Strahlen von der Pflanze absorbiert werden.

Infolgedessen müßte man aus den Kniep-Minderschen Versuchen schließen, daß den roten Strahlen ein bedeutend höherer assimilatorischer Wert zukommt als den blauen. Es kann also aus ihren Versuchen nicht geschlossen werden, daß die Energie des Lichtes das ausschlaggebende Moment bei der Assimilation ist.

In jüngster Zeit (Januar 1911) hat Lubimenko[4]) schon auf diesen Unterschied der Spektralbezirke in der Kniep-Minderschen Arbeit hingewiesen, ohne jedoch die nötigen Konsequenzen daraus zu ziehen.

Dieser Faktor kann aber vorläufig noch nicht rechnerisch voll verwertet werden, denn es fehlen bis jetzt noch genaue Energiemessungen für die Absorptionsspektra der Chromatophorenfarbstoffe Für die Ausführungen, die ich über die für die Absorption im brechbareren Teil des Spektrums gefundenen Assimilationswerte machte, kommt jenes Moment weniger in Frage, da der ganze blaue Teil von Grünalgen wie Diatomeen relativ gleichmäßig ausgelöscht wird, und innerhalb dieses absorbierten Bezirkes die einzelnen Filterbereiche auch noch annähernd gleiche Ausdehnung haben.

[1]) l. c. S. 648. [2]) l. c. S. 648. [3]) l. c. S. 633, Tabelle S. 635.

[4]) W. Lubimenko, L'assimilation chlorophyllienne et la production de la substance sèche à la lumière blanche et à la lumière colorée, S. 2.

IV. Zusammenfassung der Resultate.

Um noch einmal kurz die Resultate meiner Arbeit zusammenzufassen: Es existieren sowohl für Diatomeen als auch für grüne Algen zwei Assimilationsmaxima; das erste liegt im roten Licht, das zweite für Diatomeen im Blaugrün, für grüne Algen im Blau. Die Höhe der Assimilation in rotem und blauem Licht kann ich nicht vergleichen. Innerhalb der Absorption im blau-violetten Teil des Spektrums findet jedoch für beide Algenarten, auch bei gleicher Energiezufuhr, ein Sinken der Assimilation vom Maximum aus nach dem violetten Ende zu statt. Es hat also neben der Strahlungsenergie auch die Wellenlänge des Lichtes einen bestimmenden Einfluß auf die Assimilationsgröße.

Die vorliegende Arbeit wurde im botanischen Institut der Universität Halle in der Zeit vom Herbst 1909 bis zum Winter 1910/11 unter Leitung von Herrn Professor Dr. Karsten ausgeführt.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. Karsten und Herrn Dr. Pringsheim an dieser Stelle meinen Dank für die mannigfachen Ratschläge bei der Ausführung der Arbeit auszusprechen. Ebenfalls danke ich auch hier Herrn Geheimrat Professor Dr. Dorn, der mir bei der Ausführung der physikalischen Messungen seine freundliche Unterstützung zuwandte.

Literaturnachweis.

J. Askenasy, Beiträge zur Kenntnis des Chorophylls und einiger dasselbe begleitender Farbstoffe. Botanische Zeitung. 1867. S. 225—238.

E. Detlefsen, Die Lichtabsorption in assimilierenden Blättern. 1888. Würzburger Arbeiten III, S. 534—552.

Th. W. Engelmann, a) Farbe und Assimilation. Botanische Zeitung. 1883. I—II, S. 1—29.

— b) Untersuchungen über die quantitativen Beziehungen zwischen Absorption des Lichtes und Assimilation in Pflanzenzellen. BotanischeZeitung. 1884. VI—VII, S. 81—105.

V. Gallemaerts, De la zonation des cultures de champignons. Brüssel. 1910. Recueil de l'Institut botanique Léo Errera. VIII, S. 213—223.

K. Hoffmann, Wachstumsverhältnisse einiger holzzerstörender Pilze. Dissertation Königsberg. 1910.

G. Karsten, Die Diatomeen der Kieler Bucht. Wissensch. Meeresuntersuchungen. Bd. 4. 1899.

— Über farblose Diatomeen. Flora 1901. Ergänzungsband. Bd. 89, S. 404—433.

H. Kniep und F. Minder, Über den Einfluß verschiedenfarbigen Lichtes auf die Kohlensäureassimilation. 1909. Zeitschrift für Botanik. I. 10, S. 619—650.

W. Lubimenko, L'Assimilation chlorophyllienne et la production de la substance sèche à la lumière blanche et à la lumière colorée. Revue générale de botanique 1911. XXIII, S. 1—14.

O. Müller, Die Zellhaut und das Gesetz der Zellteilungsfolge von Melosira arenaria Moore. Pringsheims Jahrbücher. XIV, S. 231—290. 1884.

H. Nebelung, Spektroskopische Untersuchung der Farbstoffe einiger Süßwasseralgen. Botanische Zeitung. 1878. S. 369—423.

O. Richter, a) Reinkulturen von Diatomeen. 1903. Berichte der deutschen Bot. Gesellschaft. XXI. 8. S. 493—506.

— b) Zur Physiologie der Diatomeen. Mitteilung I—III. 1906, 1909. Sitzungsbericht des Kaiserl. Akad. d. Wissensch. Wien.

— Die Ernährung der Algen. 1911. Leipzig. Intern. Revue der ges. Hydrobiologie etc. Bd. 2. CXV. I. S. 27—119.

F. Schütt, Über Peridineenfarbstoffe. Berichte der deutschen Bot. Gesellschaft. 1890. S. 9—32.

G. Senn, Die Gestalt und Lageveränderung der Pflanzenchromatophoren. 1908. Jena.

E. Stahl, Laubfarbe und Himmelslicht. 1906. Naturwissensch. Wochenschrift. V, XXI, 19.

— Zur Biologie des Chlorophylls. 1909. Jena.

—

Figurenerklärung.

Fig. 1. Acht Diatomeenkolonien von 2—3 Wochen Alter. In den Röhrchen 1—4 ist die charakteristische Kolonienform bei Peptonzusatz, in den Röhrchen 5—8 die bei Asparaginzusatz deutlich zu erkennen.

Fig. 2. ca. 20fache Vergrößerung. Der dunkle Fleck in der Mitte ist eine Bakterienkolonie, in die große Mengen von Diatomeen radial eindringen. In einiger Entfernung von der Kolonie ist die Richtung der meisten Diatomeen tangential.

Fig. 3. Zonenförmiges Wachstum der Diatomeen. Die beiden kleinen Kreise, seitwärts, sind Luftblasen in der Agarschicht. Größe 1 : 1.

Fig. 4. Junge, schleimabsondernde Diatomeenkolonie. Die größte Menge der Diatomeen drängt sich in dichten Massen keilförmig auf das freie Substrat hinaus.

Fig. 5 und 6. Der Rand zweier derartiger Kolonien. Vergrößerung 1 : 16.

Fig. 7. Die Spitze einer Schleimstraße bei 160facher Vergrößerung. Der Schleim sieht heller aus als die Agarschicht und ist gegen diese durch eine dunkle Linie abgegrenzt.

Lebenslauf.

Geboren bin ich, Theodor Johannes Wilhelm Meinhold, evangelischer Konfession, am 14. November 1886 zu Sandow in Pommern als Sohn des Pastors Theodor Meinhold und seiner Gemahlin Hermine, geb. Schulze. Ich besuchte von Ostern 1893 bis Ostern 1898 die sechsklassige Volksschule zu Freienwalde in Pommern und von da ab die gehobene Knabenschule zu Barth in Pommern. Diese verließ ich Ostern 1903, um in die Obersekunda des Kgl. Pädagogiums (Gymn.) zu Putbus auf Rügen einzutreten. Dort bestand ich Ostern 1906 die Reifeprüfung. Um Mathematik und Naturwissenschaften zu studieren, hielt ich mich von Ostern 1906 bis Ostern 1908 in Halle a. S. auf. Ostern bis Herbst 1908 war ich in Freiburg i. Br., sodann bis Ostern 1909 in Greifswald immatrikuliert, um sodann nach Halle a. S. zurückzukehren.

Das examen rigorosum bestand ich am 6. März 1911.

Meine Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten:
in Halle:

Bremer, Conrad, Dorn, Ebbinghaus, Eberhard, Fries, Goldschmidt, Grenacher, Gutzmer, Haecker, Karsten, Klebs, Menzer, Mez, Pringsheim, Uphues, Walther, Wangerin;

in Freiburg:

Loewy, Oltmanns, Rickert;

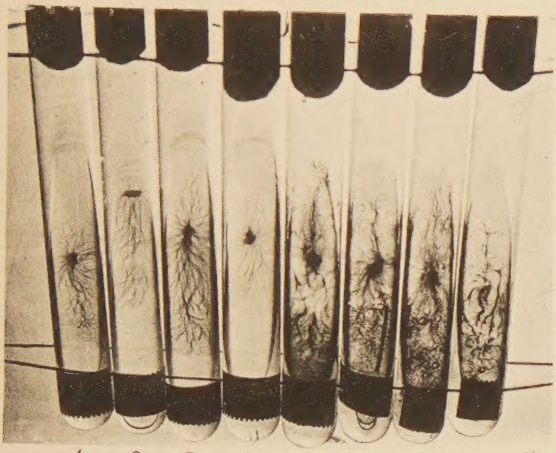
in Greifswald:

Engel, Müller, Starcke, Vahlen.

Allen diesen meinen verehrten Lehrern, besonders aber Herrn Prof. Dr. Karsten, bin ich zu großem Danke verpflichtet.

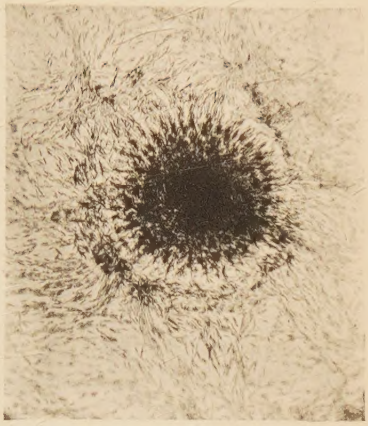
Druck von R. Nischkowsky in Breslau.

1.



1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8.

2.

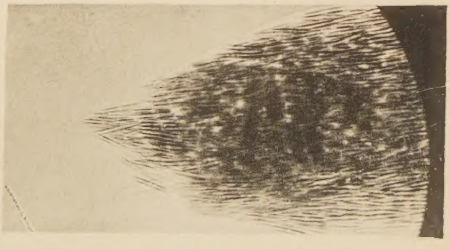


5.

3.

4.

7.



Th. Meinhold phot.

Geliefert von Meisenbach Riffarth & Co., Berlin-Schöneberg.